



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

**Yhdyskuntajätevesien kosteikkokäsittelyn  
puhdistustehokkuus typen osalta pohjoisella  
kosteikolla**

Sakari Suuronen

Ympäristötekniikka

Kandidaatintyö

Toukokuu 2020

# TIIVISTELMÄ

Yhdyskuntajätevesien kosteikkokäsittelyn puhdistustehokkuus typen osalta pohjoisella kosteikolla

Sakari Suuronen

Oulun yliopisto, Ympäristötekniikan tutkinto-ohjelma

Kandidaatintyö 2020, 21 s.

Työn ohjaaja(t) yliopistolla: Heini Postila

Tämän työn tavoitteena on tarkastella kosteikkojen käyttöä ja niiden toimivuutta jätevedenkäsittelyssä kirjallisuuden perusteella. Esimerkkikohteena käydään läpi Pohjois-Suomessa sijaitsevan jäteveden jälkikäsittelykosteikon kokonaistypen ja ammoniumtypen puhdistustehokkuutta vedenlaatuaineiston perusteella. Tutkimuskosteikon tuloksia verrataan kirjallisuudesta löytyviin kosteikkojen puhdistustehokkuuksiin.

Tutkimuskosteikon aineistoa käsiteltiin excelillä, niin että vuosien 1993-2013 väliselle aineistolle saatiin laskettua lähtevän ja tulevan veden pitoisuuden routa- ja roudattoman kauden vuosittaiset arvot, joista voitiin laskea puhdistustehokkuus. Ammoniumtypen puhdistustehokkuus tutkimuskosteikolla oli keskimäärin routakautena (loka-toukokuu) 8% ja roudattomana kautena (kesä-syyskuu) 39%, ja kokonaistypen routakautena 12% ja roudattomana kautena 30%. Tulosten perusteella puhdistustehokkuudet olivat suurempia roudattomana kautena kuin routakautena, mikä johtuu mm. siitä, että monet merkittävät typenpoistoprosessit ovat biologisia ja lämpötilariippuvaisia.

*Asiasanat: kosteikko, jätevedenpuhdistus, typpi*

# ABSTRACT

Municipal wastewater nitrogen removal efficiency in polishing phase in wetland located northern conditions

Sakari Suuronen

University of Oulu, Degree Environmental Engineering

Master's thesis 2020, 21 pp.

Supervisor(s) at the university: Heini Postila

In this bachelor's work we investigate usage and purifying capabilities of constructed treatment wetlands in treating wastewaters. Up north in Finland located Mellanaava treatment wetland is an example wetland which is processed furtherly in this work. The research data is from 1993-2013 period. In excel software the data was processed which yield yearly average removal percent's for two seasons, ground frost and frost-free periods. Average purification efficiency for whole data were calculated for ammonium ( $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ) and total nitrogen (TN) using simple equation. Average purification efficiency for ammonium were 8% for winter period and 39% for summer period, and for total nitrogen 12% for winter period and 30% for summer period. Processes that remove nitrogen are controlled by temperature and therefore the results depend significantly from temperature. According to results, removal was higher in winter season than in summer season, which is mainly due biological temperature dependent process.

*Keywords: Wetland, wastewater treatment, nitrogen*

# SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO .....	5
2 Kosteikko .....	6
2.1 Määritelmä ja luokittelu .....	6
2.2 Sovellutukset .....	7
2.3 Typen prosessit kosteikolla .....	7
2.3.1 Fysikaalisia ja kemiallisia prosesseja, joihin typpi on osallisena .....	9
2.3.2 Biologisia typen puhdistusprosesseja .....	11
2.4 Muita kosteikoissa tapahtuvia veden puhdistukseen vaikuttavia prosesseja .....	12
2.5 Kosteikoilla saavutettuja puhdistustehokkuuksia .....	14
3 Tutkimuskosteikko ja menetelmät .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.1 Yleiskatsaus puhdistamosta .....	16
3.2 Tutkimuskosteikko .....	16
3.3 Käytetyt tutkimusmenetelmät .....	17
4 Tutkimustulokset ja tulosten tarkastelu .....	20
5 Yhteenveto ja johtopäätökset .....	24
LÄHDELUETTELO	

## MERKINNÄT JA LYHENTEET

Al	Alumiini
BOD7/ATU	Biologinen hapenkulutus
H <sub>2</sub> S	Dirikkivety
N <sub>2</sub> O	Dityppioksidi
PO <sub>4</sub>	Fosfaatti
CO <sub>2</sub>	Hiilidioksidi
pH	Ilmaisee aineen happamuuden
K	Kalium
Ca	Kalsium
TP	Kokonaisfosfori
TN	Kokonaistyyppi
NO <sub>3</sub> -N	Nitraattityppi
NO <sub>2</sub> -N	Nitriittityppi
HSSF	Maanalaisen vaakatasossa virtaavan veden kosteikko
Mg	Magnesium
Mn	Mangaani
CH <sub>4</sub>	Metaani
H <sup>+</sup>	Protoni
VF	Pystysuoraan virtaavan veden kosteikko
Fe	Rauta
Eh	Redox-potentiaali
N <sub>2</sub>	Typpikaasu
FWS	Vapaan vedenpinnan kosteikko
H <sub>2</sub> O	Vesi

## JOHDANTO

Kosteikot voivat olla rakennettuja tai luonnontilaisia ja niitä voidaan käyttää esimerkiksi jätevedenpuhdistukseen. Tällöin niitä on rakennettu jätevedenpuhdistamojen yhteyteen tai ne voivat toimia jätevedenpuhdistamosta erillisinä puhdistusrakenteina. Kosteikko voi olla osa jäteveden jälkikäsittelyä, jos se on rakennettu sen yhteyteen. (Kadlec & Wallage, 2009) Jätevedenpuhdistuksen tarkoitus on laskea tulevan veden ravinneainepitoisuuksia lupavaatimusten tasolle. Jätevesi puhdistuu puhdistusprosessien seurauksena. Puhdistusprosessit ovat luokiteltu fysikaalisiin, kemiallisiin ja biologisiin prosesseihin (Kadlec & Wallage, 2009).

Tämän työn tavoitteena on selvittää pohjoisissa olosuhteissa toimivan yhdyskuntajätevesien jälkikäsittelyssä jätevedenpuhdistamon jälkeen olevan kosteikon toimivuutta. Kosteikon toimivuutta hyvin kuvaava suure on puhdistustehokkuus. Puhdistustehokkuus kuvaa sitä, miten hyvin tuleva vesi puhdistuu kosteikolla. Työn tavoite on rajattu koskemaan vain typen yhdisteitä. Työn tutkimuskosteikko on tyypiltään turpeesta koostuva pintavaluntakenttä. Kosteikolla puhdistettu vesi lasketaan purkuojan kautta vesistöön. (Ronkanen, 2009) Tämän lisäksi kandidaatintyön kirjallisuusosassa käydään läpi kosteikon puhdistusprosesseja ja kosteikkojen toimivuutta kirjallisuuskatsauksen perusteella.

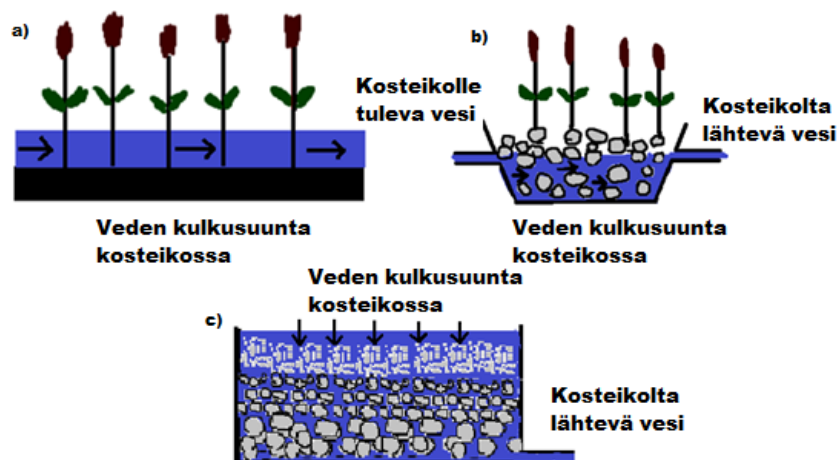
## 2. KOSTEIKKO

### 2.1 Määritelmä ja luokittelu

Kosteikon määritelmä on laaja. Kosteikossa voi olla vapaa vedenpinta ja virtausta selvästi maan päällä, tai sitten virtaus tapahtuu maan sisällä. Kosteikossa voi olla hapen suhteen vaihtelevia alueita. Monissa kosteikoissa on kasvillisuutta, mutta rakennettu kosteikko voi olla myös kasviton. Kosteikot ovat kosteita suurimman osan tai osan ajan vuodesta. (Kadlec & Wallage, 2009; DuPold ym., 1995; Valk & Valk, 2012.)

Kosteikot luokitellaan luonnonkosteikkoihin ja ihmisen rakentamiin kosteikkoihin. Ihmisen rakentamat kosteikot on rakennettu niin, että ne perustuvat johonkin luonnon kosteikoissa esiintyvään ominaisuuteen, kuten veden virtaukseen. (Kadlec & Wallage, 2009). Käytössä olevat ihmisen rakentamat kosteikkotyypit ovat

1. Vapaan vedenpinnan kosteikot (FWS, kuva 1a)
2. Maanalaisen vaakatasossa virtaavan veden kosteikot (HSSF, kuva 1b)
3. Pystysuoraan virtaavan veden kosteikot (VF, kuva 1c)
4. Hybridikosteikot, esimerkiksi:
  - a. HSSF kosteikko, jota seuraa VF kosteikko
  - b. VF kosteikko, jota seuraa HSSF kosteikko
  - c. Jokin yhdistelmä edellisistä, jota seuraa FWS kosteikko



Kuva 1. Esimerkit a) vapaan vedenpinnan kosteikosta, b) maanalaisesti vaakatasossa virtaavan veden kosteikosta, c) maanalaisesti pystysuoran virtaavan kosteikosta.

## 2.2 Sovellutukset

Rakennettuja kosteikkoja käytetään mm. jätevesien käsittelyn yhteydessä. Pienten yhteisöjen jätevesien käsittelyssä voi riittää yksinkertainen jätevesienkäsittely kosteikolla. Kosteikkoja voidaan myös käyttää jätevedenpuhdistamojen jälkeen jätevesien jälkikäsittelyssä. Kosteikkoja käytetään maatalouksista syntyvien (valuma)vesien käsittelyssä, kaivosten metallipitoisten ja typpipitoisten valumavesien käsittelyssä, eri teollisuuden alojen jätevesien puhdistuksessa, kaatopaikkojen valumavesien ja hulevesien käsittelyssä. (Kadlec & Wallage 2009)

## 2.3 Typen prosessit kosteikolla

Kosteikon typpi on orgaanista tai epäorgaanista. Orgaaniset typpiyhdisteet ovat hiiltä sisältäviä yhdisteitä, kuten aminohappoja, puriineja ja pyriineja. Epäorgaanisia typpiyhdisteitä ovat ammoniumtyppi ( $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ) ja ammoniakki ( $\text{NH}_3$ ), nitriittityppi ( $\text{NO}_2\text{-N}$ ), ja nitraattityppi ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ), dityppioksidi  $\text{N}_2\text{O}$  ja typpikaasu  $\text{N}_2$  (Vymazal, 2007). Orgaaninen ja epäorgaaninen typpi muodostavat kosteikon kokonaistypen (TN). Typpi on osallisena fysikaalisissa, kemiallisissa ja biologisissa prosesseissa. Fysikaalisissa prosesseissa typpi siirtyy kosteikossa muuttumattomana ja kemiallisissa ja biologisissa prosesseissa typen kemiallinen rakenne muuttuu. Fysikaaliset ja biologiset prosessit ovat merkittäviä typenkierron kannalta. Typen liikkumista kosteikossa kuvataan typen kierrolla (kuva 2). (Kadlec & Wallage, 2009)

Merkittäviä fysikaalisia ja kemiallisia prosesseja kosteikossa ovat

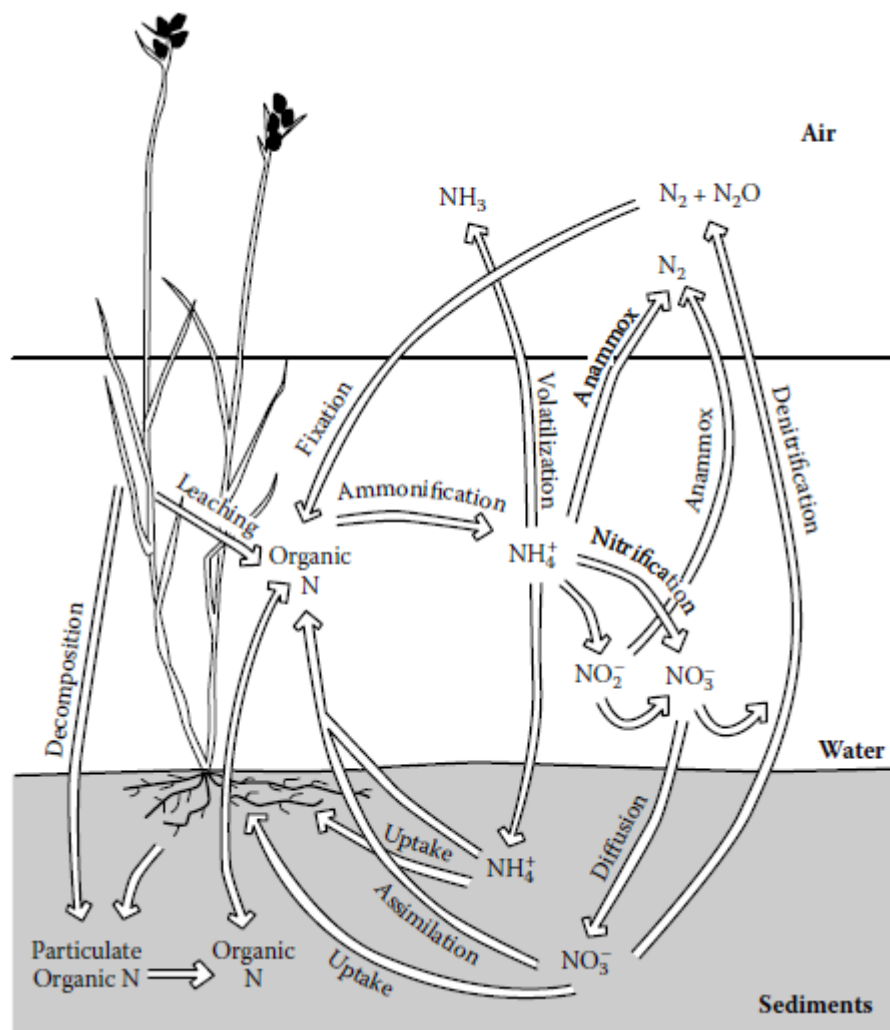
1. Partikkelien laskeutuminen kosteikon pohjalle
2. Partikkelien uudelleen suspensoituminen veteen
3. Haihtuminen
4. Diffuusio
5. Adsorptio ja desorptio

Merkittäviä biologisia prosesseja kosteikossa ovat

1. Ammonifikaatio



2. Nitrifikaatio
3. Denitrifikaatio
4. Hajoaminen
5. Kasvien ravinteiden otto



Kuva 2. Typen kiertoon vaikuttavat prosessit (Kadlec & Wallage, 2009).

### 2.3.1 Fysikaalisia ja kemiallisia prosesseja, joihin typpi on osallisena

#### Partikkelien laskeutuminen ja uudelleen suspensoituminen

Partikkelien laskeutuminen on prosessi, jossa veteen suspensoituneet partikkelit laskeutuvat. Laskeutumista tapahtuu kaikille partikkeleille, jotka ovat tiheydeltään suurempia kuin vesi. Laskeutuminen tapahtuu painovoimaisesti HSSF, FWS ja VF kosteikoissa. (Kadlec & Wallage, 2009)

FWS kosteikossa partikkelit laskeutuvat, kun laskeutumisaika on pienempi kuin partikkelien viipymä kosteikossa. Yksittäisen partikkelin laskeutumisaika riippuu partikkelin laskeutumisnopeudesta, mikä taas riippuu partikkelin halkaisijasta ja tiheydestä. Laskeutumisnopeus on suuri tiheälle ja suurelle partikkelille, ja pieni ”ei tiheälle” ja pienelle partikkelille. HSSF ja VF kosteikossa partikkeleista laskeutuvat lähestulkoon kaikki. (Kadlec & Wallage, 2009)

Laskeutuneet partikkelit voivat suspensoitua takaisin veteen. FWS kosteikossa uudelleen suspensoitumista tapahtuu suurten virtausten, eläinten ja sedimenttiin jääneiden kaasujen, kuten metaani ( $\text{CH}_4$ ), vaikutuksesta. Kasvien juurakot ja kuolleista materiaalista koostuva kerros pohjalla pidättävät partikkeleita, ja vähentävät uudelleen suspensoitumista. Uudelleen suspensoitumista ei juurikaan tapahdu HSSF ja VF kosteikoissa. (Kadlec & Wallage, 2009)

#### Haihtuminen

Erittäin merkittävä typen poisto prosessi on denitrifikaatiossa syntyvän typpikaasun haihtuminen ilmaan. Typpi voi haihtua myös ilmaan  $\text{N}_2\text{O}$  muodossa. Ammoniakin haihtumisessa ammoniakki haihtuu vedestä ilmaan. (Kadlec & Wallage, 2009)

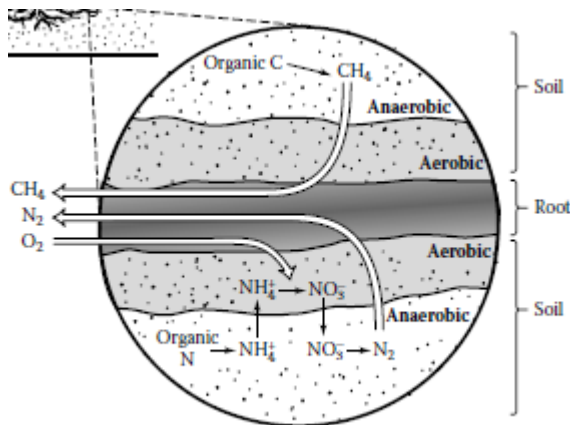
Haihtumisen vaiheet ovat:

1. Ammoniumtypen muuntuminen ammoniakiksi (Kadlec & Wallage, 2009)  $\text{pH} > 9$ . (Pellikka yms., 2017)
2. Aineensiirto eli ammoniakki diffusoituu veden rajapinnalle vedestä
3. Ammoniakki haihtuu veden rajapinnalta ilman rajapinnan puolelle

4. Aineensiirto eli ammoniakki diffusoituu ilman rajapinnalta ilmaan. (Kadlec & Wallage, 2009)

### Diffuusio

Diffuusiossa yhdisteet liikkuvat pienempää pitoisuutta kohti. Ammoniakin haihtumisessa ammoniakki diffusoituu veden rajapinnalle vedestä ja ilman rajapinnalta ilmaan. Diffuusiota tapahtuu juurakon hapellisen ja hapettoman maan välillä (kuva 3). Kasvissa ilmaraoista otettu happi kulkee juuriin ja kemiallisen toiminnan tuloksena juurien ympärille muodostuu ohut hapellinen kerros, jossa tapahtuu nitrifikaatio reaktioita. Hapeton ja hapellinen maa ovat lähekkäin toisiaan, jolloin ammonium ja nitraatti liikkuvat diffuusiolla kerroksien välillä. (Kadlec & Wallage 2009)



Kuva 3: Nitraatin ja ammoniumtyypen diffuusio juurakossa. (Kadlec & Wallage 2009)

### Adsorptio ja desorptio

Ammoniumtyypelle tapahtuu adsorptiota kidevedestä substraattiin ja desorptiota substraatista kideveteen. Substraatti on kappale kosteikossa, jolla on adsorptiopinta, johon kationit kiinnittyvät. Kationeja, jotka pystyvät kiinnittymään adsorptiopinnalle ovat mm. protoni ( $H^+$ ), magnesium (Mg), kalium (K), ja kalsium (Ca), mangaani (Mn) ja rauta (Fe). (Ramesh & DeLaune, 2008) Heikkisen ym. (1995) tutkimuksessa on tarkasteltu turvepohjaista pintavaluntakenttä tyylistä kosteikkoa. Pintavaluntakentän kationivaihtokapasiteetti arvot turpeelle olivat 21,4-92,7 meq/100g pitoisuuksina. Turpeen adsorptiokapasiteetti on 4,6-5,8% ammoniumtyypelle. (Heikkinen, 1995) Åbo Akademin suorittamissa kokeissa lannalle tulevalle puhtaalla vedelle saavutettiin 25%

sitoutuminen ammoniumtyypelle erääseen patentoituun mineraaliin (patentti FI20050700A0). (Laiho & Rajala, 2019)

### 2.3.2 Biologisia typen puhdistusprosesseja

#### Ammonifikaatio

Ammonifikaatiossa orgaanisista typpi yhdisteistä muodostuu ammoniumtyyppiä. Ammonifikaatio on merkittävä prosessi typen poiston kannalta. Parhaat olosuhteet ammonifikaatiolle ovat lämpötilassa 40-60°C, ja pH ollessa 6,5-8,5. (Vymazal, 2007) Prosessissa tapahtuu sekä hapellisissa että hapettomissa olosuhteissa (Kadlec & Wallage 2009).

#### Nitrifikaatio

Nitrifikaatio tapahtuu kahdessa peräkkäisessä reaktiossa. Ensimmäisessä reaktiossa ammoniumtyppi hapettuu nitriitiksi (NO<sub>2</sub>-N), ja toisessa reaktiossa nitriitti hapettuu nitraatiksi (NO<sub>3</sub>-N). Nitrifikaatioon osallistuvat nitriittiä hapettavat bakteerit ja ammoniakkia hapettavat bakteerit (AOB) olosuhteissa (Kadlec & Wallage 2009). Nitrifikaatiolle optimi pH on 7.5-8, happipitoisuus 2-3 mg/l ja lämpötila +10 °C. (Pellikka yms., 2017)

#### Denitrifikaatio

Denitrifikaatio on monivaiheinen prosessi, jossa nitraatista muodostuu typpikaasua bakteerien toimesta. Reaktion tapahtuminen edellyttää orgaanisen substraatin, ja olosuhteiden tulee olla hapettomat ja pH:n 6-8. Lämpötilan kasvu nopeuttaa denitrifikaatiota 60-75 °C asti, mutta denitrifikaatiota voi tapahtua jo 5 °C lämpötilassa. (Vymazal, 2007)

#### Hajoaminen

Hajoaminen on prosessi, jossa hajoamisvaiheessa olevista kuolleista kasveista vapautuu ravinteita, kuten typpi yhdisteitä, hajottajien ja ravinteiden liukenemisen seurauksena. Materiaalin hajoamiseen voi kulua aikaa viikoista vuosiin. Hajoamisen nopeuteen ja hajoaako materiaali loppuun asti, hiilidioksidiksi (CO<sub>2</sub>) ja vedeksi (H<sub>2</sub>O), vaikuttaa

materiaalin koostumus ja kosteikon olosuhteet, kuten pH, lämpötila ja happipitoisuus. Hajoaminen etenee loppuun asti lämpimissä ja happipitoisissa oloissa. Materiaalin massa vähenee eksponentiaalisesti ajan kuluttua. Hajoamisen alkuvaiheessa hajottajat saattavat ottaa ravinteita, kuten typpeä, enemmän kuin vapauttavat. (Valk. & Valk., 2012)

#### Kasvien ravinteidenotto

Kasvit ottavat ammoniumtyppeä ja nitraattia ravinteena. Ensisijaisesti kasvit ottavat ammoniumtyppeä, mutta nitraattipitoisissa vesissä kasvit käyttävät nitraattia ammoniumtypen sijasta. Kasvien kasvu sijoittuu kevät-kesä väliselle ajalle kylmissä ilmastoissa. Kasvit vapauttavat ravinteita syksyllä. Puuvartisten kasvien juuret ja varsi voivat säilöä typpeä talven yli. (Vymazal, 2007)

## **2.4 Muita kosteikoissa tapahtuvia veden puhdistukseen vaikuttavia prosesseja**

#### Fosforin kierto

Fosfori on orgaanista ja epäorgaanista (fosfaatti  $\text{PO}_4$ ). Fosforin hapetusluku ei muutu, kun fosforia käytetään tai tapahtuu orgaanisen materiaalin hajoamista. Maassa olevan fosforin hapetusluku on (+5) ja alemman hapetusluvun omaava fosfori hapettuu fosfaatiksi. (Vymazal, 2007)

Fosforin prosessit voidaan jaotella merkittävyyden mukaan. Vähemmän merkittäviä prosesseja, jossa fosfori on mukana, on Kadlec & Wallage (2009) mukaan partikkeleiden laskeutuminen, fosforin liikkuminen varastojen välillä, ja varastoituminen ja vapautuminen biomassasta. Näistä kuitenkin partikkeleihin sitoutuneen fosforin poistuminen laskeutumalla voi olla myös merkittävää (Pöyry Oy, 2017).

Merkittäviä fosforin kiertoon vaikuttavia prosesseja ovat:

#### 1. Sorptio

- Adsorptiossa fosforiyhdiste kiinnittyy kidevedestä partikkelin pintaan
- Absorptiossa fosfori kiinnittyy kiinteään faasiin

- Desorptio on ad- ja absorptiolle vastakkainen prosessi
2. Sakan muodostuminen
    - Fosfaatti-ionit ja metallikationit (Mg, Fe, Al, Ca) muodostavat sakkoja (Ramesh & DeLaune, vuosiluku?)
  3. Turpeen/sedimentin muodostuminen
    - Turve ja sedimentit ovat fosforin pitkäaikaisia varastoja
  4. Fosforin otto ravinteena
    - Kasvit ottavat fosforia kasvukauden alussa juurakosta
    - Mikrobit ottavat fosforia nopeasti käyttöönsä (Vymazal, 2007)

Sorptiota tapahtuu metallien, kuten raudan ja alumiinin kanssa. Näitä yhdisteitä voi olla kosteikon sedimenteissä. (Valk. & Valk., 2012) Jos kosteikko on jätevedenpuhdistamon jälkeen, ja jätevedenpuhdistamolla jätevedenkäsittelyssä on lisätty rauta- tai alumiinipohjaisia kemikaaleja, niin tämän myötä kosteikolle tulee tyypillisesti myös jonkin verran metalleja. Esimerkiksi rautaa voi esiintyä vesissä kahdessa muodossa liukoisessa  $\text{Fe}^{2+}$  (hapettomat olosuhteet) ja heikommin liukoisessa  $\text{Fe}^{3+}$  (hapelliset olosuhteet). (Kadlec & Wallage 2009) Fosfori sitoutuu  $\text{Fe}^{3+}$  kanssa, muodostaen yhdisteen. Jos  $\text{Fe}^{3+}$  pelkistyy esimerkiksi sulfidi yhdisteen toimesta, fosfaattifosforia vapautuu. (Valk. & Valk., 2012)

### Rikin prosessit

Rikki kiertää kosteikossa eri prosessien kautta. Rikkiä on orgaanista ja epäorgaanista. Kosteikossa rikki esiintyy dirikkivetyä ( $\text{H}_2\text{S}$ ), rikin eri hapetuslukuina ja sulfaattina ( $\text{SO}_4^{2-}$ ). Sulfaatti voi pelkistyä dirikkivedyksi ja sulfaattia kuluu kasvien ravinteiksi. Kasvien hajoamisessa vapautuu orgaanista rikkiä, joka hapettuu takaisin sulfaatiksi rikin eri hapetusmuotojen kautta. Hapettomissa oloissa orgaanisesta rikistä muodostuu dirikkivetyä. Dirikkivety reagoi kosteikossa olevan raudan kanssa veteen liukenemattomaksi rautasulfaatiksi tai haihtuu ilmakehään. (Valk. & Valk., 2012)

### Metallien prosessit

Metallien poistossa olosuhteet vaikuttavat siihen missä muodossa metallit esiintyvät. Näitä vaikuttavia tekijöitä ovat mm. pH, redox, happi. Kosteikon raudan hapetusluvut ovat  $\text{Fe}^{2+}$  ja  $\text{Fe}^{3+}$ . Rauta  $\text{Fe}^{3+}$  pelkistyy  $\text{Fe}^{2+}$  hapettomissa oloissa. Rauta esiintyy  $\text{Fe}^{3+}$  muodossa tyypillisesti, kun  $\text{pH} > 6.5$  ja redox-potentiaali  $E_h > 0$ . Kosteikossa

rauta sitoutuu mm. sedimentteihin ja sakkoihin. Alumiini esiintyy kosteikossa ”kolloidina” ja ioniyhdisteinä. Liuenneesta alumiinista muodostuu sakkaa  $\text{Al}(\text{OH})_3$ . (Kadlec & Wallage 2009)

## 2.5 Kosteikoilla saavutettuja puhdistustehokkuuksia

Kosteikkojen fosforin ja typen puhdistustehokkuutta on selvitetty mm. Vymazal (2007) artikkelissa, jossa typen puhdistustehokkuuksien tarkastelussa on ollut mukana 85 FWS, 137 HSSF ja 51 VF kosteikkoa, ja fosforin puhdistustehokkuuksien tarkastelun osalta 85 FWS, 149 HSSF ja 78 VF kosteikkoa. Tarkastellut kosteikot ovat sijainneet hyvin eri puolilla maailmaa ja siten mm. erilaisissa lämpötilaolosuhteissa. Tarkastellut kosteikot ovat olleet seuraavista maista: Australia, Alankomaat, Brasilia, Intia, Itävalta, Irlanti, Kanada, Kiina, Meksiko, Norja, Puola, Ruotsi, Ranska, Saksa, Slovenia, Tsekki, Tanska, Turkki, Uusi-Seelanti, UK, ja Yhdysvallat. (Vymazal, 2007)

Keskimääräiset puhdistustehokkuudet kokonaistypelle (TN) ovat FWS 41,2%, HSSF 42,3% ja VF 44,6% kosteikoilla, ja sisääntulopitoisuudet FWS  $14,3 \text{ mg l}^{-1}$ , HSSF  $46,6 \text{ mg l}^{-1}$ , ja VF  $68,4 \text{ mg l}^{-1}$ . Ammoniumtypen puhdistustehokkuudet ovat FWS 55,1%, HSSF 48,3% ja VF 84,2%, ja sisääntulopitoisuudet FWS  $12,9 \text{ mg l}^{-1}$ , HSSF  $38,9 \text{ mg l}^{-1}$  ja VF  $55 \text{ mg l}^{-1}$ . Nitraattitypen puhdistustehokkuudet ovat olleet FWS 60,7%, HSSF 38,5% ja VF 0%, ja sisääntulopitoisuudet FWS  $5,6 \text{ mg l}^{-1}$ , HSSF  $4,4 \text{ mg l}^{-1}$  ja VF  $0,7 \text{ mg l}^{-1}$ . Vastaavasti keskimääräiset puhdistustehokkuudet kokonaisfosforille (TP) ovat olleet FWS 48,8%, HSSF 41,1% ja VF 59,5%. (Vymazal, 2007)

Suomessa jätevedenpuhdistamoiden jälkeisiä kosteikkoja on tarkasteltu mm. Savikujan (2012) diplomityössä. Tarkastelussa on ollut mukana 2 Suomessa sijaitsevaa kosteikkoa. Nämä kosteikot ovat sijainneet Siikalatvalla ja Kempeleessä. (Pöyry Oy, 2017) Lakeuden kosteikon tyyppi on FWS ja Siikalatvan HSSF (Perälä, 2006; Pöyry Oy, 2017).

Näistä esimerkiksi Kempeleessä sijaitsevalle Lakeuden kosteikolle tulevan jäteveden keskimääräinen fosforipitoisuus on ollut  $0,26 \text{ mg/l}$ , josta suurin osa on fosfaattifosforia. (Pöyry Oy, 2017) Fosfaattipitoisuus on  $0,21 \text{ mg/l}$  (Perälä, 2006). Kokonaisfosforin puhdistustehokkuus kosteikolla on ollut 61 %. (Pöyry Oy, 2017)

Lakeuden kosteikolle tulevan jäteveden keskimääräinen kiintoainepitoisuus (SS) on ollut 14,0 mg/l ja puhdistustehokkuus on ollut keskimäärin 72%. (Pöyry Oy, 2017) Kosteikolle tulevan jäteveden keskimääräinen kokonaistyyppipitoisuus on ollut 73,2 mg/l ja puhdistustehokkuus on 16%. Kosteikolle tulevasta epäorgaanisesta tyypestä on 99% ammoniumtyyppiä. Kosteikolle tulevan jäteveden ammoniumtyypipitoisuus on 66,4 mg/l ja puhdistustehokkuus on ollut 21%. Kosteikolla saavutetaan 50% puhdistustehokkuus nitriitti/nitraattityypelle. (Pöyry Oy, 2017)

Siikalatvan kosteikolla puhdistustehokkuudet ovat kokonaistypelle 27-70%, kiintoaineelle 99%, kokonaisfosforille 0% ja BOD<sub>7</sub>:lle (biologinen hapenkulutus) 58% (Arola, 2012). Kosteikolla vesi virtaa pohjoisesta-etelään. Mitatut veden pitoisuudet ovat eri suuruiset kosteikon etelä -ja pohjoisosissa. Eteläosan kosteikolta ja samoin koko kosteikkoalueelta lähtevän veden pitoisuudet ovat biologiselle hapenkulutukselle (1,4-5,1 mgO<sub>2</sub>/l), kokonaistypelle (15-23 mg/l), kiintoaineelle (2,6-27 mg/l) ja kokonaisfosforille (0,090-0,27 mg/l). Pohjoiselta kosteikolta lähtevän veden pitoisuudet ovat biologiselle hapenkulutukselle (0,3-4,8 mgO<sub>2</sub>/l), kokonaistypelle (5,9-6,9 mg/l), kiintoaineelle (4,8-22 mg/l) ja kokonaisfosforille (0,073-0,2 mg/l). (Savikuja, 2012)



### 3 TUTKIMUSKOSTEIKKO JA MENETELMÄT

#### 3.1 Yleiskatsaus puhdistamosta

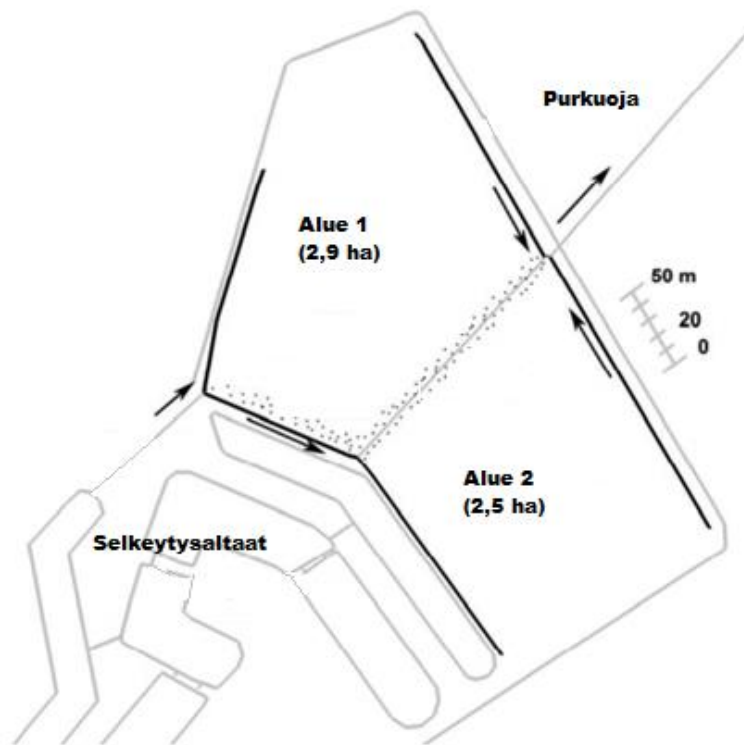
Ivalon Mellanaavan jätevedenpuhdistamolla käsitellään Ivalon alueen ja Saariselän-Kakslauttasen alueen jätevesiä 182625 m<sup>3</sup>/a. Jätevedenpuhdistamolla on lupavaatimukset biologisen hapenkulutuksen ja kokonaisfosforin poiston suhteen, niin että biologinen hapenkulutus BOD<sub>7</sub>/ATU puhdistamolta lähtevässä vedessä on enintään 20 mgO<sub>2</sub>/l ja puhdistusteho laitoksella vähintään 90 %. Kokonaisfosforipitoisuus puhdistamolta lähtevässä vedessä saa olla enintään 0,5 mg/l ja puhdistustehon tulee olla vähintään 95 %. (Eurofins Ahma Oy, 2017)

Jätevedenpuhdistamo on biologiskemiallinen puhdistamo, (Inergia Oy, 2019) jonka prosessin vaiheita ovat:

1. Kiintoaineen välppäys ja kiintoaineen laskeutuminen
2. Biologinen käsittely
  - Jäteveden puhdistus bakteerien toimesta
3. Kemiallinen käsittely
  - Flokkien muodostuminen pienistä mikropartikkeleista
4. Jälkiselkeytys
  - Flokkien laskeutuminen
5. Lietteen pumppaus sakeutusta varten
6. Lietteen sakeutus ja kuivaus
7. Kompostointi

#### 3.2 Tutkimuskosteikko

Mellanaavan jätevedenpuhdistamon jälkeen rakennettu kosteikko on osa jätevedenpuhdistusprosessia ja se koostuu 2 pintavaluntakentästä (kuva 4), joille vesiä on johdettu vuorotellen vaihtelevina kuukausina vuoteen 2004 asti. Ronkasen työssä on tutkittu vain toista kentistä (Alue 1), ja laskettu veden keskimääräiseksi viipymäksi 1 (d). Maamateriaali on turve. Alueellisesti routa voi ulottua 30 cm asti. (Ronkanen, 2009)



Kuva 4: Mellanaavan kosteikko ja siihen kuuluvat osat (Selkeytsaltaat ja purkuoja). Veden etenemissuuntaa merkitään nuolilla. (Mukailtuna Ronkanen, 2009)

### 3.3 Käytetyt tutkimusmenetelmät

Kosteikolta on kerätty aineistoa jo aiemmin vuosilta 1993-2006 exceliin ja tässä kandidaatintyössä sitä täydennettiin 2009-2013 väliseltä ajalta päästötarkkailuraporttien tietojen perusteella. Aineisto on lisäksi jaettu ajanjaksoihin roudaton kausi (kesä-syyskuu) ja routakausi (loka-toukokuu)

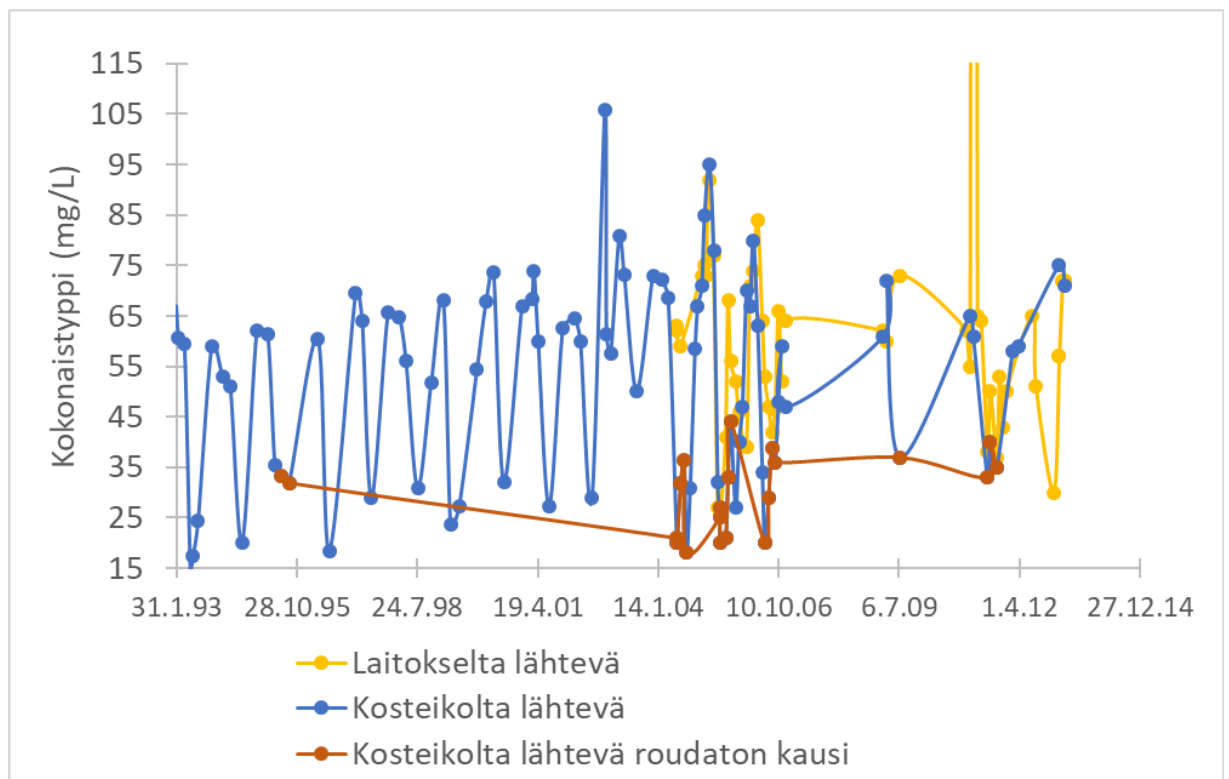
Aineiston perusteella puhdistustehokkuus,  $R$  on laskettu seuraavan yhtälön (1) avulla:

$$R = \frac{(\text{tuleva pitoisuus} - \text{lähtevä pitoisuus})}{\text{tuleva pitoisuus}} * 100\% \quad (1)$$

Puhdistustehokkuuden tarkastelua varten on otettu aina kyseisen vuoden kaikkien routa- tai roudattoman kauden pitoisuuksien keskiarvo ja laskettu puhdistustehokkuus niiden perusteella.

## 4 TUTKIMUSTULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU

Kosteikolle tulevan eli laitokselta lähtevän veden laadussa on vuodenaikaista vaihtelua kokonaistypen pitoisuuksien suhteen, niin että routakautena pitoisuudet ovat keskimäärin korkeampia (kuva 5 ja taulukot 1 ja 2). Kosteikolta lähtevän routakauden pitoisuudet ovat suurempia kuin roudattoman kauden pitoisuudet, ja routakauden puhdistustehokkuus onkin heikompi. Lähtevien tai tulevien pitoisuuksien suhteen ei ole kosteikon käyttöaikana tapahtunut merkittävää muutosta.



Kuva 5. Kokonaistyyppipitoisuuden vaihtelu kosteikolle tulevassa ja sieltä lähtevässä vedessä.

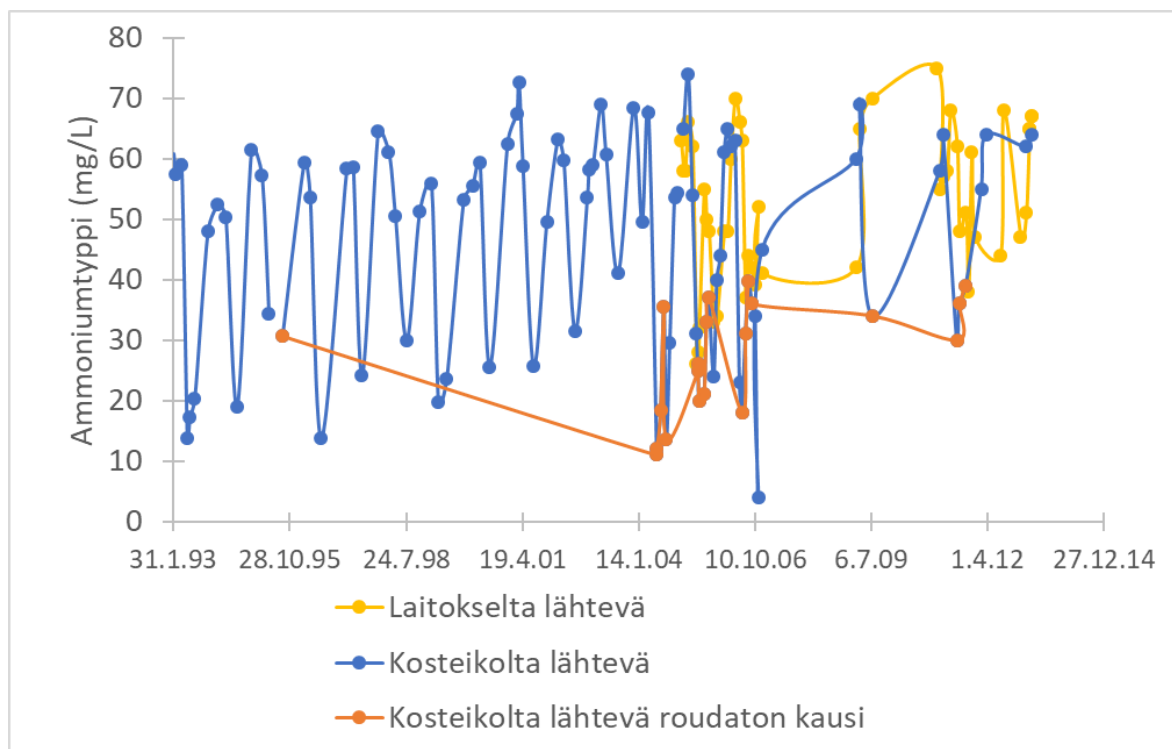
Taulukko 1. Kosteikon roudattoman kauden (kesä-syyskuun) kokonaistypen tulevat ja lähtevät pitoisuudet sekä puhdistustehokkuus.

Vuosi	Tuleva pitoisuus (mg/L)		Lähtevä pitoisuus (mg/L)		Puhdistustehokkuus (%)
		n		n	
1995	26	1	33	2	-23
2004	61	3	25	5	58
2005	49	5	28	6	42
2006	50	4	31	4	39
2009	62	1	37	1	40
2011	47	3	36	3	22
2012	45	3	-	-	-
Keskiarvo	49		32		30

Taulukko 2. Kosteikon routakauden (loka-toukokuun) kokonaistypen tulevat ja lähtevät pitoisuudet sekä puhdistustehokkuus.

Vuosi	Tuleva pitoisuus (mg/L)		Lähtevä pitoisuus (mg/L)		Puhdistustehokkuus (%)
		n		n	
1993	-	5	52	5	-
1994	-	3	55	3	-
1995	-	2	48	2	-
2004	-	5	59	5	-
2005	63	8	59	6	5
2006	66	8	59	7	11
2009	67	2	67	1	0
2011	135	8	63	3	53
2012	61	5	59	2	4
2013	70	4	73	2	-4
Keskiarvo	77		61		12

Kosteikolle tulevan eli laitokselta lähtevä ammoniumtyyppi pitoisuus on routakautena suurempi kuin roudattomana kautena. (kuva 6 ja taulukot 3 ja 4) Kosteikolta lähtevän routakauden pitoisuudet ovat suurempia kuin roudattoman kauden pitoisuudet. Roudattoman kauden puhdistustehokkuus on parempi.



Kuva 6. Ammoniumtyppipitoisuuden vaihtelu kosteikolle tulevassa ja sieltä lähtevässä vedessä

Taulukko 3. Kosteikon roudattoman kauden (kesä-syyskuun) ammoniumtypen tulevat ja lähtevät pitoisuudet sekä puhdistustehokkuus.

Vuosi	Tuleva pitoisuus (mg/L)		Lähtevä pitoisuus (mg/L)		Puhdistustehokkuus (%)
		n		n	
1995	-	-	31	1	-
2004	48	2	18	5	62
2005	43	5	27	6	37
2006	44	4	31	4	30
2009	55	1	34	1	38
2011	50	3	35	3	31
2012	47	3	-	-	-
Keskiarvo	48		29		39

Taulukko 4: Kosteikon routakauden (loka-toukokuu) ammoniumtypen tulevat ja lähtevät pitoisuudet sekä puhdistustehokkuus.

Vuosi	Tuleva pitoisuus (mg/L)		Lähtevä pitoisuus (mg/L)		Puhdistuste hokkuus (%)
		n		n	
1993	-	5	48	5	-
1994	-	3	55	3	-
1995	-	2	51	1	-
2004	-	5	62	5	-
2005	50	8	61	6	-23
2006	56	8	-	8	-
2009	73	2	65	1	10
2011	56	8	36	3	36
2012	64	5	-	2	-
2013	67	4	-	2	-
Keskiarvo	61		55		8

Kokonaisuutena typenpoistoprosessit ovat kosteikolla routakautena heikompia kuin roudattomana aikana. Kosteikon puhdistustuloksia roudattomana kautena tarkasteltaessa ammoniumtypen poistotehokkuus on ollut hieman parempi kuin kokonaistypen, mutta roudattomana kautena tilanne on ollut toisinpäin. Ammoniumtypen poistotehokkuuteen vaikuttaa merkittävästi nitrifikaatio-denitrifikaatioprosessit, jotka ovat lämpötilariippuvaisia (Vymazal, 2007) ja pohjoisilla alueilla lämpötila on routakautena alhaisempi. Esimerkiksi tutkimusaineistossa roudattoman kauden veden lämpötila vuosina 1993-2013 oli keskimäärin 11 °C ja routakautena 1°C. Ammoniumtypen poistuma on osa kokonaistypen poistumaa. Lämpötilariippuvaiden nitrifikaatio-denitrifikaatioprosessien lisäksi kokonaistyppeä poistavia prosesseja ovat mm. kiintoaineeseen sitoutuneen typen laskeutuminen, joka voi tapahtua myös talvella. Lisäksi kasvit vapauttavat syksyllä typpeä takaisin kosteikkoon, mikä voi hetkellisesti heikentää puhdistustehokkuutta (Vymazal, 2007). Toisaalta tulokset kertovat siitä, että kosteikon pitkäaikaisessa toimivuudessa ei ole tapahtunut selkeitä muutoksia. Tämä selittyyneen pääosin sillä, että typpi voi poistua typpikaasuna ilmaan. (Vymazal, 2007)

Kun verrataan tuloksia Vymazal (2007) koosteeseen kosteikkojen puhdistustehokkuuksista, eli HSSF kosteikolla kokonaistypen osalta 42,3% (sisään tuleva pitoisuus 46,6 mg l<sup>-1</sup>) ja ammoniumtypen osalta 48,3% (sisään tuleva pitoisuus 38,9 mg l<sup>-1</sup>), huomataan että pohjoisessa sijaitsevalla Mellanaavan kosteikolla etenkin routakautena arvot ovat selvästi pienempiä. Roudattomana kautena sen sijaan puhdistustehokkuudet ovat vain noin 10 % pienempiä. Heikommat typenpuhdistustulokset Mellanaavan kosteikolla johtunevat pääasiassa siitä, että lämpötila on selvästi alhaisempi.

Lakeuden puhdistustehokkuus kokonaistypelle on 16%, mikä on pienempi kuin tutkimuskosteikolla saavutettu puhdistustehokkuus kokonaistypelle roudattomana kautena

30%., mutta suurempi kuin routakauden keskimääräinen puhdistustehokkuus 12%. Ammoniumtypelle saavutetaan Lakeuden kosteikolla 21% puhdistustehokkuus. Se on pienempi kuin Mellanaavan tutkimuskosteikon roudattoman kauden puhdistustehokkuus 39%, mutta suurempi kuin routakauden puhdistustehokkuus 8%.

Siikalatvan kosteikolla saavutetaan varsin vaihteleva puhdistustehokkuus kokonaistypelle 27-70%. Puhdistustehokkuus on suurempi kuin tutkimuskosteikon molempina kausina, routakausi 12% ja roudaton kausi 30%. Ammoniumtypelle on saatu laskettua puhdistustehokkuudet eteläiselle- ja pohjoiselle kosteikon osille. Vesi virtaa kosteikoilla pohjoisesta etelään. Pohjoisella kosteikolla saavutetaan 48% puhdistustehokkuus ja eteläisellä kosteikolla vielä 92% puhdistustehokkuus. Puhdistustehokkuudet ovat suurempia kuin tutkimuskosteikolla saavutetut puhdistustehokkuudet ammoniumtypelle, jotka ovat 39% (roudaton) ja 8% (routakausi).



## 5. YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä työssä kuvailtiin erilaisia kosteikko tyyppejä, sekä prosesseja, joissa typen eri yhdisteet ovat osallisena, ja tarkasteltiin puhdistustehokkuutta typen eri yhdisteille tarkasteltavalla tutkimuskosteikolla. Typen eri yhdisteet, ( $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ) ammoniumtyppi, ( $\text{NH}_3$ ) ammoniakki, ( $\text{NO}_2\text{-N}$ ) nitriitti, ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) nitraatti, ( $\text{N}_2\text{O}$ ) dityppiokisidi ja ( $\text{N}_2$ ) typpikaasu muodostavat kosteikon kokonaistypen (TN). Tämän työn tärkeät typen yhdisteet ovat ammoniumtyppi ja kokonaistyyppi. Ihmisen käyttämät kosteikot voivat olla päätyyleiltään vapaan vedenpinnan, horisontaalisen maanalaisen virtauksen, vertikaalisen virtauksen ja hybridi kosteikoja. Kosteikolla vesi puhdistuu fysikaalisten, biologisten ja kemiallisten prosessien seurauksena. Merkittävä tyypeä poistavia prosesseja ovat ammonifikaatio, nitrifikaatio, denitrifikaatio ja haihtuminen. Näihin tyypeä poistaviin prosesseihin vaikuttaa merkittävästi lämpötila, happi ja pH. Parhaat olosuhteet ammonifikaatiolle ovat lämpötilassa 40-60°C, denitrifikaatiota voi tapahtua jo 5 °C lämpötilassa ja lämpötilan kasvu nopeuttaa denitrifikaatiota 60-75 °C asti.

Tutkimuskosteikko on pohjoisessa sijaitseva Mellanaavan kosteikko. Se on 2 pintavaluntakentästä koostuva kosteikko. Tutkimuskosteikolle laskettiin puhdistustehokkuudet ammoniumtyypelle ja kokonaistypelle tutkimusaineistosta routa -ja roudattomalle kaudelle. Puhdistustehokkuudet olivat ammoniumtyypelle roudattomana kautena 30% ja routakautena 8%, ja kokonaistypelle roudattomana kautena 30% ja routakautena 12%. Tutkimustuloksia verrattiin kansainvälisen kosteikkovertailun, Lakeuden ja Siikalatvan kosteikkojen puhdistustehokkuuksiin. Vertailun perusteella todettiin, että tutkimuskosteikon pohjoisesta sijainnista johtuva alhainen lämpötila roudattomana (+11 °C) ja routakautena (+1°C) vaikuttaa lämpötilasta riippuvaisiin prosesseihin ja typen puhdistustehokkuuteen.

## LÄHDELUETTELO

Arola M. (2012) Puhdistamon jälkeisen jätevedenkäsittelyn tehostaminen Taivalkosken jätevedenpuhdistamolla, diplomityö, Oulun Yliopisto, 136 s

Barry I., DuPold C., Lamonte G., Lapp. J., Murphy T. Rider G., Robert E., Sayers M., Suffian F., Takita C., Webster H. (1995) Handbook of Constructed Wetlands a Guide to Creating Wetlands For Agricultural Wastewater Domestic Wastewater Coal Mine Drainage Stormwater in the Mid-Atlantic Region Volume 1: General Considerations. v. 1995, 52.s ISBN 0-16-052999-9

DeLaune R. D. & Ramesh R. K. (2008) Biochemistry of Wetlands: Science and Applications. 1 painos. Julkaisija: CRC Press, 800 s. ISBN: 978-1-56670-678-0

Eurofins Ahma Oy (2017) Mellanaavan jätevedenpuhdistamon velvoitetarkkailun tulokset vuodelta 2017. [verkkodokumentti] [viitattu 2.5.2020]. Saatavissa: <https://docplayer.fi/162361320-Ivalon-mellanaavan-jatevedenpuhdistamon-velvoitetarkkailun-tulokset-vuodelta-2017-kaytto-paasto-ja-vaikutustarkkailu.html>

Heikkinen K., Ihme R. & Lakso E. (1995) Contribution of cation exchange property of overflow wetland peat to removal of NH<sup>+</sup> discharged from some Finnish peat mines

Inergia Oy (2019) Inergiset Kesä 2019. [verkkodokumentti]. [viitattu 2.5.2020]. Saatavissa: [https://issuu.com/inergiaoy/docs/issuu\\_inergiset\\_2\\_2019](https://issuu.com/inergiaoy/docs/issuu_inergiset_2_2019)

Kadlec, R.H. & Wallage, S.D. (2009) Treatment wetlands. 2 painos. Boca Raton: CRC Press, 1016 s. ISBN 978-1-56670-526-4.

Perälä M. K. (2006) Tutkimukset lakeuden keskuspuhdistamon koekentällä kesällä 2005, Diplomityö, Oulun Yliopisto, 83 s+8 liitettä.

Saatavissa: <https://docplayer.fi/32192612-Tutkimukset-lakeuden-keskuspuhdistamon-koekentalla-kesalla-2005.html>

Puustinen M. (2007) Kosteikot leikkaavat ravinnekuormitusta ja elävöittävät maisemaa [verkkodokumentti]. [viitattu 2.5.2020]. Saatavissa: <https://docplayer.fi/13078587-Kosteikot-leikkaavat-ravinnekuormitusta-ja-elavoittavat-maisemaa.html>

Pöyry Oy (2017) Tarkastelu jäteveden käsittelystä ja kuormituksen vaikutuksesta vesistöön [verkkodokumentti]. [viitattu 2.5.2020]. Saatavissa: [https://kempeleenvesihuolto.fi/sivusto/wp-content/uploads/Lakeuden\\_-KP\\_-Tarkastelu\\_JV\\_Kasittelysta\\_final\\_-2017\\_06\\_20-1.pdf](https://kempeleenvesihuolto.fi/sivusto/wp-content/uploads/Lakeuden_-KP_-Tarkastelu_JV_Kasittelysta_final_-2017_06_20-1.pdf)

Ronkanen, A. K. (2009) Hydrologic and hydraulic processes in northern treatment peatlands and the significance for phosphorus and nitrogen removal. Väitöskirja, Oulun yliopisto, 70 s., ISBN 978-951-42-9116-6 Saatavissa: <http://jultika.oulu.fi/Record/isbn978-951-42-9116-6>

Savikuja M. (2012) Typenpoisto jätevedenpuhdistamoiden jälkeisillä laajoilla kosteikoilla. Diplomityö, Oulun yliopisto, 130 s. Saatavissa: <https://docplayer.fi/8678158-Typenpoisto-jatevedenpuhdistamoiden-jalkeisilla-laajoilla-kosteikoilla.html>

Valk, A.V.D. & Valk, A.G.V.D. (2012) Biology of Freshwater Wetlands. 1 painos. OUP Oxford, 296 s. ISBN 978-0-19-960895-9

Vymazal J. (2007) Removal of Nutrients in Various Types of Constructed Wetlands. Science of the Total Environment 380: 48–65.